

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 43 18 466 A 1**

⑳ Aktenzeichen: P 43 18 466.9  
㉑ Anmeldetag: 3. 6. 93  
㉒ Offenlegungstag: 8. 12. 94

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**H 01 L 41/04**  
G 01 L 23/10  
G 01 P 15/09  
G 01 P 15/125  
G 01 H 1/00  
G 01 H 11/06  
G 01 H 11/08

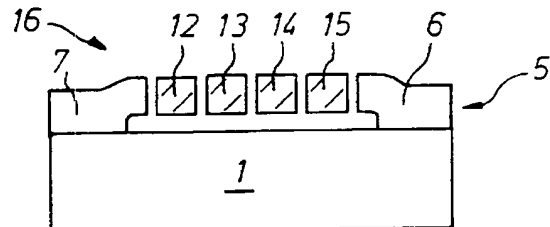
DE 43 18 466 A 1

㉑1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉑2 Erfinder:  
Muchow, Joerg, Dipl.-Ing., 7410 Reutlingen, DE;  
Muenzel, Horst, Dipl.-Phys. Dr., 7410 Reutlingen, DE;  
Offenberg, Michael, Dr.-Ing. Dr., 7400 Tübingen, DE;  
Waldvogel, Winfried, Dipl.-Phys. Dr., 7402  
Kirchentellinsfurt, DE

㉑4 Mikromechanischer Sensor und Verfahren zu dessen Herstellung

㉑5 Es wird ein mikromechanischer Sensor und ein Verfahren zu seiner Herstellung vorgeschlagen, der aus einem Träger aus Siliziumsubstrat (1) mit einer auf das Siliziumsubstrat aufgetragenen Epitaxieschicht (5) aus Silizium besteht. Durch einen Ätzprozeß ist ein Teil der Epitaxieschicht (5) als wenigstens ein mikromechanisches Auslenkteil (12 bis 15) freigelegt. Erfindungsgemäß besteht das freigelegte Auslenkteil (12 bis 15) aus polykristallinem Silizium, das über einer durch Ätzung entfernten Siliziumoxidschicht (2) während des Epitaxieprozesses polykristallin aufgewachsen ist. Im Abstützbereich bzw. an der Verbindung zum Siliziumsubstrat (Bereiche 6, 7) geht das freigelegte Auslenkteil in einkristallines Silizium über. Durch große Schichtdicken ist eine große Arbeitskapazität des Sensors möglich. Die Sensorstruktur zeichnet sich durch Vorteile hinsichtlich der mechanischen Stabilität, Prozeßfähigkeit und der Gestaltungsmöglichkeiten aus und ist insbesondere in einen Bipolarprozeß oder Mischprozeß (Bipolar-CMOS, Bipolar-CMOS-DMOS) integrierbar.



DE 43 18 466 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 94 408 049/215

8/36

## Beschreibung

## Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem mikromechanischen Sensor nach der Gattung des Hauptanspruchs.

Aus der deutschen Patentanmeldung P 40 00 903.3-09 ist ein mikromechanischer Sensor als Beschleunigungssensor bekannt, der auf der Basis der Silizium-Mikromechanik hergestellt ist. Der Sensor besteht aus einem Träger aus Siliziumsubstrat mit einer auf das Siliziumsubstrat aufgetragenen Epitaxieschicht aus Silizium, wobei durch einen Ätzprozeß ein Teil der Epitaxieschicht als mikromechanische Auslenkteile in der Form von Zungen freigelegt ist. Eine oder mehrere Zungen sind dazu an einem oder mehreren Stegen aufgehängt und werden bei einer Kraftwirkung auf den Sensor gegenüber der übrigen Sensorstruktur ausgelenkt. Zudem sind Mittel zur Auswertung der Auslenkung vorgesehen. Aus der deutschen Patentanmeldung P 40 03 473.9-09 ist es zudem bekannt, bei der Gestaltung und Anordnung sowie für den Ätzprozeß kristallographische Winkel eines monokristallinen Siliziumwafers zu berücksichtigen.

Als Mittel zur Auswertung der Auslenkung der Zungen sind elektrisch isoliert davon jeweils Elektroden angeordnet, so daß eine kapazitive Änderung zwischen Zunge und Elektrode meßbar ist.

Die Freilegung der Zungen als Bestandteile der Epitaxieschicht erfolgt mit Hilfe einer Rückseitenätzung. Dies stellt gegenüber einem üblichen Bipolarprozeß einen zusätzlichen Prozeßschritt dar.

Aus der internationalen Patentanmeldung WO 92/03740 ist es bekannt, auf einem Träger aus Siliziumsubstrat in einem LPCVD-Prozeß (Low Pressure Chemical Vapor Deposited) eine Schicht aus polykristallinem Silizium auf eine Siliziumoxidschicht mit Kontaktfenstern aufzubringen. Die Siliziumoxidschicht wird durch einen Ätzprozeß entfernt, wodurch die polykristalline Siliziumschicht in einem Abstand zum Siliziumsubstrat als Zunge oder als Elektrode auf den in den Kontaktfenstern gebildeten Stützen steht. Die Abscheiderate von mechanisch spannungsarmen LPCVD-Poly liegt bei ca. 60 Å/min und ist damit im Vergleich zur Abscheiderate epitaktischen Poly-Siliziums von ca. 1 µm/min sehr gering. Dadurch sind aus Gründen der Prozeßökonomie nur relativ dünne LPCVD-Schichten herstellbar, wodurch die Arbeitskapazität, insbesondere eines lateralen Beschleunigungssensors, durch die entsprechend geringen Schichtdichten der Zungen begrenzt ist. Zudem sind hier zusätzliche Siliziumabscheidungen, verglichen mit einem konventionellen Bipolarprozeß, erforderlich.

## Vorteile der Erfindung

Der erfindungsgemäße Sensor mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, daß die Herstellung des freigelegten Auslenkteils aus polykristallinem Silizium bzw. die mechanisch aktive Schicht ohne zusätzlichen Aufwand im Rahmen eines Bipolar- oder MOS-Prozesses erzeugbar ist, ohne daß zusätzliche Siliziumabscheidungen erforderlich sind. Die Epitaxie ist ein bekannter, spezieller Prozeß zur Herstellung einkristalliner Schichten aus Silizium, während erfindungsgemäß polykristallin (über Siliziumoxid) oder anderen nicht kristallinen Schichten

abgeschiedene Epitaxieschichten verwendet werden, die im Zuge eines konventionellen Bipolarprozesses aufgebracht werden.

Die Epitaxieabscheiderate ist gegenüber einem LPCVD-Prozeß sehr hoch, so daß erfindungsgemäß relativ dicke Schichten von 10 bis 30 µm realisiert werden können, was die Arbeitskapazität des lateralen Sensors vergrößert.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen des im Hauptanspruch angegebenen Sensors möglich. Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Sensors besteht darin, daß das erfindungsgemäße Verfahren universell für verschiedene Designs anwendbar ist, insbesondere sind Anordnungen von einseitig abgestützten Zungen und an Randbereichen abgestützte Platten auch in mehreren Lagen übereinander möglich. Ein weiterer, großer Vorteil besteht darin, daß mit den gleichen Verfahrensschritten ohne wesentlichen Zusatzaufwand auf demselben Träger zusätzlich zum mikromechanischen Sensor integrierte elektronische Schaltungen, insbesondere die Auswerteschaltung für die Auslenkung, herstellbar sind. Ebenso ist eine elektrische Isolation des mikromechanischen Sensorteils von übrigen, elektronischen Bauteilen auf demselben Träger zusammen mit den übrigen Herstellungsschritten möglich.

## Zeichnung

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Es zeigen

Fig. 1a bis Fig. 1d einen Schnitt eines Sensors in verschiedenen Herstellungsphasen,

Fig. 2a bis Fig. 2e einen Schnitt eines Sensors in Verbindung mit einem Transistor in verschiedenen Herstellungsphasen nach einem Bipolarprozeß,

Fig. 3a eine Draufsicht auf einen Sensor und

Fig. 3b einen Schnitt durch diesen Sensor,

Fig. 4 eine Draufsicht auf eine zweite Ausführungsform eines Sensors und

Fig. 5 eine Draufsicht auf eine dritte Ausführungsform eines Sensors.

## Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In Fig. 1 ist ein Träger 1 aus Siliziumsubstrat dargestellt, auf den eine Siliziumoxidschicht 2 aufgebracht ist, wobei um diese Siliziumoxidschicht 2 Kontaktfensteröffnungen 3, 4 zum Siliziumsubstrat 1 hergestellt sind.

Die Siliziumoxidschicht 2 kann entweder undotiert sein oder auch eine Phosphor-, Bor- oder As-Dotierung enthalten. Eine Dotierung führt vorteilhaft zu einem kürzeren Ätzvorgang bei der späteren Entfernung dieser Siliziumoxidschicht 2 oder kann auch zum Dotieren der mechanisch beweglichen Si-Struktur dienen.

Auf die Oxidschicht können wahlweise noch andere Schichten, wie z. B. Siliziumnitrid oder Poly-Silizium, aufgebracht werden.

Gemäß Fig. 1b wird in einem weiteren Verfahrensschritt eine Epitaxieschicht 5 aus Silizium auf den Träger 1 bzw. die Siliziumoxidschicht 2 und die Kontaktfensteröffnungen 3, 4 abgeschieden. Die Epitaxie ist ein an sich bekannter, spezieller Prozeß zur Herstellung einkristalliner Schichten aus Silizium. Im vorliegenden Prozeß wächst die Epitaxieschicht 5 nur an Abstützbereichen 6, 7 über dem Siliziumsubstrat 1 einkristallin auf. Auf der Siliziumoxidschicht 2 dagegen in einem Bereich

8 entsprechend etwa der Breite des Pfeiles 9 wächst die Epitaxieschicht polykristallin auf (angedeutet durch die Schraffur).

Der Träger als Siliziumwafer wird bevorzugt in einer Kristallrichtung ausgerichtet. Die Orientierung in der (100) Richtung ist technisch bedeutend für einen MOS- und BICMOS-Prozeß, die Ausrichtung (111) für einen Bipolar-Prozeß. Eine Ausrichtung (110) ist technisch weniger relevant.

Um die Qualität der polykristallinen Epitaxieschicht (Bereich 8) zu verbessern, kann auf die Siliziumoxidschicht 2 vor der Epitaxie eine Poly-Startschicht 10 aufgebracht werden, wie dies in Fig. 1a strichliert eingezeichnet ist.

Spezielle Ausführungsformen des Sensors benötigen unter dem freigeätzten Sensormaterial auf dem Substrat Leitungen oder Gegenelektroden, die durch pn-Übergänge räumlich begrenzt werden. Zur elektrischen Passivierung können vor der Deposition des Opferoxides HF-resistente dielektrische Schichten auf dem Substrat abgeschieden werden (z. B. Nitrid). Diese verhindern hohe Leckströme über die nach dem Opferoxidätzen freiliegenden pn-Übergänge.

Aus der polykristallinen Epitaxieschicht im Bereich 8 werden die mikromechanischen Auslenkteile freigelegt. Wie in Fig. 1c gezeigt, werden dazu in einem Trenchprozeß durch die polykristalline Epitaxieschicht 8 tiefe schmale Ätzgräben, sogenannte Trenches, eingebracht. Dazu ist eine entsprechende Maske, z. B. als Resist, erforderlich. Die Herstellung der Trenches erfolgt mit der Technik des anisotropen Plasmaätzens als Trockenätzprozeß mit hoher Anisotropie. Durch die gezeigten fünf Trenches 11 werden die seitlichen Strukturbegrenzungen von vier zungenförmigen Auslenkteilen 12, 13, 14, 15 herausgeätzt.

In einem weiteren Verfahrensschritt wird die Siliziumoxidschicht 2 als Opferschicht entfernt. Diese Entfernung wird mit hoher Selektivität gegenüber dem Silizium mit Flußsäure (HF) durchgeführt.

Wie aus Fig. 1d ersichtlich, ist damit ein mikromechanischer Sensor 16 herstellbar mit Auslenkteilen 12, 13, 14, 15 aus polykristallinem Silizium, die im Abstützbereich an der Verbindung zum Siliziumsubstrat 1 in einkristallines Silizium übergehen. Bei einer Krafteinwirkung auf den Sensor werden diese Auslenkteile 12, 13, 14, 15 gegenüber der weiteren Sensorstruktur, insbesondere dem Siliziumsubstrat 1, ausgelenkt. Diese Auslenkung kann zu Meßzwecken kapazitiv oder piezoresistiv ausgewertet werden.

Ersichtlich kann das vorstehend geschilderte Verfahren mehrfach übereinander angewendet werden, durch abwechselndes Aufbringen einer Siliziumoxidschicht 2, anderer Schichten 10 und einer Epitaxieschicht 5, so daß nach entsprechenden Ätzprozessen mehrere Lagen von Auslenkteilen 12, 13, 14, 15 übereinander erreichbar sind. Solche Ausführungen eignen sich insbesondere für kapazitive Beschleunigungssensoren.

Die Abscheiderate für die Epitaxieschicht ist relativ hoch, so daß Epitaxieschichtdicken und damit Dicken der Auslenkteile 12, 13, 14, 15 von 10 bis 30 µm Dicke realisierbar sind.

Nach der schematischen Darstellung anhand der Fig. 1a bis Fig. 1d wird anhand der Fig. 2a bis Fig. 2e die Herstellung und Ausbildung eines konkreten mikromechanischen Sensors 16 erläutert in Verbindung mit der Integrierbarkeit in einem Bipolarprozeß für einen danebenliegenden Transistor 17. Dieser Transistor steht beispielhaft für IC-Schaltungen, insbesondere einer Aus-

werteschtaltung für die mechanische Auslenkung der Auslenkteile im Sensor 16.

In Fig. 2a ist als Ausgangsteil ein Träger 1 aus p-dotiertem Siliziumsubstrat dargestellt.

In Fig. 2 ist ein üblicher Prozeßzustand in der Bipolar-technik dargestellt nach einer  $n^+$ -Diffusion (Buried Layer Diffusion) und einer p-Diffusion (untere Isolationsdiffusion). Die im linken Bereich der Fig. 2b dargestellten Schichten 2 und 10 entsprechen den Schichten 2 und 10 in Fig. 1. Die im rechten Teil dargestellte Siliziumoxidschicht 18 (im rechten Bereich soll der Transistor entstehen) wird für die weiteren Verfahrensschritte entfernt, während die Siliziumschicht 2 mit den dargestellten Kontaktfenstern stehenbleibt. Wie in Fig. 2c dargestellt, wird dann über diese Struktur die n-Epitaxieschicht 5 aufgebracht, die über der stehengebliebenen Siliziumoxidschicht 2 im Bereich 8 entsprechend der Abmessung des Pfeiles 9 polykristallin aufwächst.

Entsprechend Fig. 2d wird anschließend eine elektrische Isolation durch eine p-Isolationsdiffusion 19 durchgeführt, ebenso wie eine p-Basisdiffusion 20. Zudem wird eine  $n^+$ -Kollektorschlußdiffusion 21 und eine  $n^+$ -Emitterdiffusion in bekannter Weise entsprechend dem Bipolarprozeß angebracht. Weiter wird eine obere Siliziumoxidschicht 23 aufgebracht.

In weiteren Verfahrensschritten nach Fig. 2e wird zur lateralen Strukturbegrenzung des zungenförmigen Auslenkteils 12 ein Trench 11 eingebracht und zur Freilegung der Unterfläche die Siliziumoxidschicht 2 als Opferschicht mit Flußsäure weggeätzt. Zudem werden Kontaktöffnungen und eine Metallisierung für Anschlüsse am Sensor 16 sowie die Transistoranschlüsse E, B, C am Transistor 17 hergestellt.

Gemäß Fig. 2e wurde somit ein mikromechanischer Sensor 16 mit einem zungenförmigen Auslenkteil 12 geschaffen, das bei Krafteinwirkung innerhalb des Luftspalts 24 auslenkbar ist. Über die Anschlüsse 25 und 26 können Kapazitätsänderungen abgegriffen und ausgewertet werden.

In den Fig. 3a und 3b ist ein Sensor 16 im einzelnen dargestellt, entsprechend einem Herstellprozeß gemäß der Fig. 2a bis 2e, linke Seite. Fig. 3b zeigt dazu einen entsprechenden Querschnitt entlang einer Schnittlinie 27 aus der Draufsicht nach Fig. 3a.

Aus Fig. 3a ist ersichtlich, daß mit Hilfe des Trenchprozesses ein Trenchgraben 11 hergestellt wurde, der eine plattenförmige Struktur als Auslenkteil 12 begrenzt, wobei dieses über zwei Stege 28, 29 mit der übrigen Struktur verbunden ist. Der Sensor ist somit bevorzugt für Bewegungen vertikal zur Trägerebene als Beschleunigungssensor einsetzbar.

In einer weiteren Ausführungsform nach Fig. 4 ist ein plattenförmiges, etwa quadratisches Auslenkelement 30 an den Ecken über vier Stege 31, 32, 33, 34 gehalten. Eine solche Ausführungsform eignet sich insbesondere als kapazitiver Beschleunigungssensor.

Aus einer Draufsicht auf eine dritte Ausführungsform gemäß Fig. 5 ist zu ersehen, daß mit der vorbeschriebenen Technik auch Ausführungen mit einer Mehrzahl von ggf. über Leiterbahnen 35 verbundenen Elektroden 36 in einem Sensor realisierbar sind. Gegenüber diesen feststehenden Elektroden 36 bewegt sich eine gemäß dem beschriebenen Verfahren hergestellte freie Siliziummasse 37. Sie ist ihrerseits mit Elektroden versehen, die zwischen die feststehenden Elektroden 36 ragen. Die Auslenkung der Masse 37 infolge von Beschleunigung in lateraler Richtung kann somit kapazitiv sensiert werden.

## Patentansprüche

1. Mikromechanischer Sensor (16), insbesondere zur Schwingungs-, Neigungs-, Beschleunigungs- oder Druckmessung, bestehend aus einem Träger aus Siliziumsubstrat (1) mit einer auf das Siliziumsubstrat (1) aufgetragenen Epitaxieschicht (5) aus Silizium, wobei durch einen Ätzprozeß ein Teil der Epitaxieschicht (5) als wenigstens ein mikromechanisches Auslenkteil (12 bis 15; 30; 36) freigelegt ist, das wenigstens einseitig an einem Abstützbereich mit dem Siliziumsubstrat (1) verbunden ist und das bei einer Krafteinwirkung auf den Sensor (16) gegenüber der übrigen Sensorstruktur auslenkbar ist und mit Mitteln zur Auswertung der Auslenkung, **dadurch gekennzeichnet**, daß das freigelegte Auslenkteil (12 bis 15; 30; 37) aus polykristallinem Silizium besteht, das im Abstützbereich an der Verbindung zum Siliziumsubstrat (1) in einkristallines Silizium übergeht.
2. Mikromechanischer Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertung der Auslenkung kapazitiv oder piezoresistiv erfolgt.
3. Mikromechanischer Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Auslenkteil aus einem oder mehreren, einseitig abgestützten Zungen (12 bis 15; 36) besteht.
4. Mikromechanischer Sensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Auslenkteil, insbesondere zur Realisierung eines kapazitiven Beschleunigungssensors mit lateraler Empfindlichkeit bzw. Detektionsrichtung aus einer an Randbereichen, insbesondere an Ecken, abgestützten Platte (30) besteht.
5. Mikromechanischer Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Lagen von Auslenkteilen aus übereinandergelegten Epitaxieschichten freigelegt sind.
6. Mikromechanischer Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (1) als Siliziumwafer in der kristallographischen Richtung (111) oder (100) orientiert ist.
7. Mikromechanischer Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß auf demselben Träger (1) zusätzlich zum mikromechanischen Sensor (16) integrierte elektronische Schaltungen (17), insbesondere die Mittel zur Auswertung der Auslenkung angeordnet sind.
8. Mikromechanischer Sensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Isolation des mikromechanischen Sensorteils (16) von übrigen Bauteilen (17) auf demselben Träger (1) durch Isolationsdiffusionen (19) oder durch Trenches hergestellt ist.
9. Verfahren zur Herstellung des mikromechanischen Sensors nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß auf das Siliziumsubstrat (1), dort wo das oder die mikromechanischen Auslenkteile (12 bis 15; 30; 36) freigelegt werden sollen, eine Siliziumoxidschicht (2) aufgebracht wird, wobei um diese Siliziumoxidschicht (2) Kontaktfensteröffnungen (3, 4) zum Siliziumsubstrat (1) hergestellt sind, daß auf der Siliziumoxidschicht (2) und den Kontaktfensteröffnungen (3, 4) eine Epitaxieschicht (5) aus Silizium abgeschieden wird, die auf der Siliziumoxidschicht (2) polykristallin (Bereich 8) und im Bereich der Kontaktfensteröffnungen (3, 4) als direkte Verbindung zum Siliziumsub-

strat (1) einkristallin (Bereich 6, 7) aufwächst, daß die Siliziumoxidschicht (2) als Opferschicht unter dem polykristallinen Epitaxierschichtbereich (8) durch einen Ätzprozeß entfernt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Trenchprozeß vor dem Entfernen der Siliziumoxidschicht (2) die lateralen Strukturbegrenzungen des oder der Auslenkteile (12 bis 15; 30; 36, 37) in der Form von engen Ätzgräben als Trenches (11) mit der Technik des anisotropen Plasmaätzens durch die polykristalline Epitaxieschicht (8) hindurch herausgeätzt werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Siliziumoxidschicht (2) vor der Epitaxie eine Poly-Startschicht (10) aufgebracht wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß zur elektrischen Passivierung vor der Disposition des Opferoxides HF-resistente dielektrische Schichten auf dem Substrat, insbesondere Nitrid, abgeschieden werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Siliziumoxidschicht (2) dotiert wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Entfernung der Siliziumoxidschicht (2) mit Flußsäure durchgeführt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß unter Benutzung der Verfahrensschritte zur Herstellung des mikromechanischen Sensors (16) auf demselben Träger (1) integrierte elektronische Schaltungen (17), insbesondere zur Auswertung der Auslenkung des Auswertteils, hergestellt werden.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG.1a

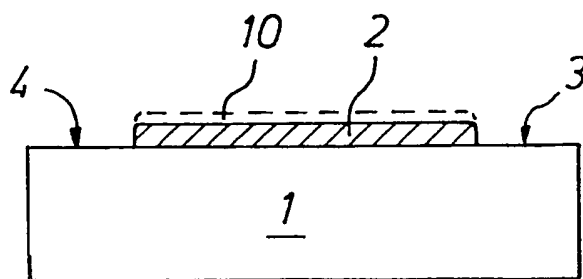


FIG.1b

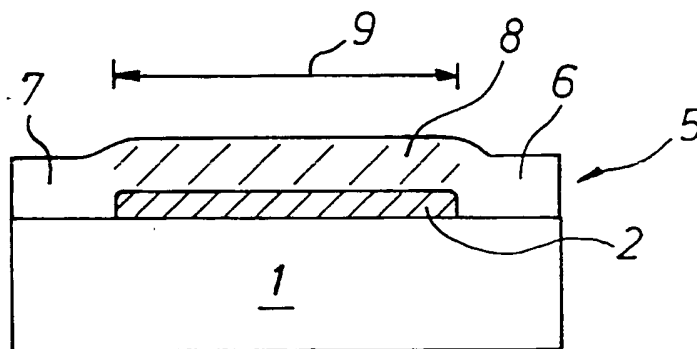


FIG.1c

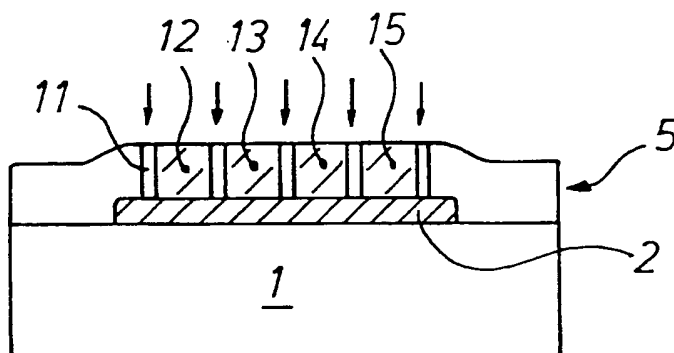
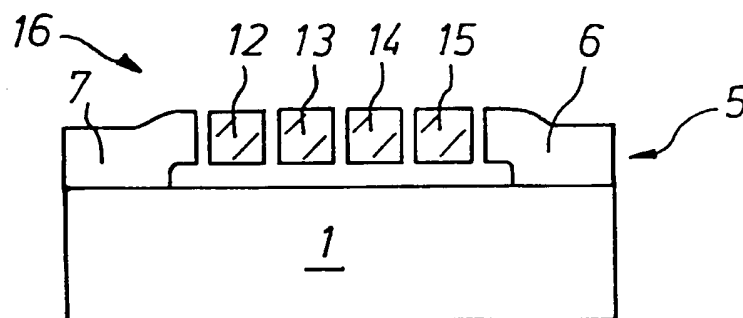


FIG.1d



\*

FIG. 2a

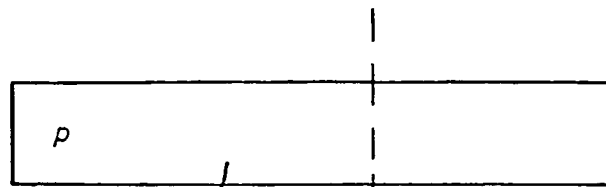


FIG. 2b

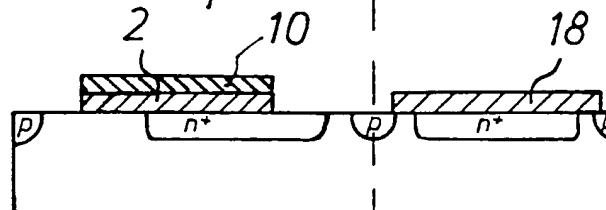


FIG. 2c

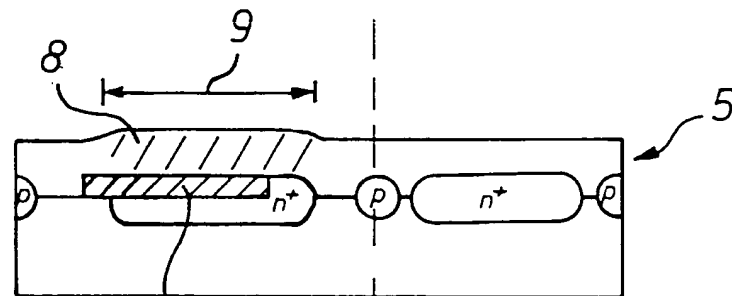


FIG. 2d

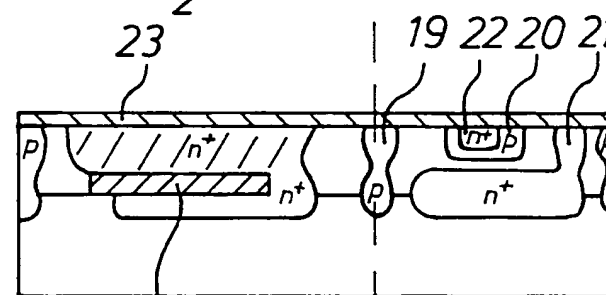


FIG. 2e

